

## **Разработка и исследование трап-детектора с высокой внешней квантовой эффективностью**

***Балабан В. М., Мунтян К.И., Тимофеев Е. П., к.т.н.***

*Национальный научный центр "Институт метрологии"*

Украина, г. Харьков, ул. Мироносицкая, 42

тел.: (+38 057) 704 97 50, e-mail: [timofeev@metrology.kharkov.ua](mailto:timofeev@metrology.kharkov.ua)

*Приведены результаты разработки трап-детектора для исследования энергетических характеристик оптического излучения.*

**Введение.** Анализ тенденций развития эталонной базы ведущих стран мира показывает, что метрологические центры Великобритании, Германии, России, США, Франции и Японии для воспроизведения энергетических и фотометрических единиц оптического излучения используют абсолютные криогенные радиометры. Так как рабочий диапазон криогенных радиометров находится в области единиц и десятков микроватт, то для передачи воспроизводимой единицы в рабочий диапазон основного парка современных промышленных средств измерений необходим эталон-переносчик.

Лучшим кандидатом на роль эталона-переносчика в видимом и ближнем ИК диапазоне в настоящее время является фотодиодный трап-детектор. Разработанные в начале 80-х годов прошлого столетия, трап-детекторы продолжают совершенствоваться и в настоящее время, так как требования к характеристикам эталонов, обусловленные развитием когерентной и некогерентной оптической техники и расширением областей ее применения, непрерывно возрастают.

Целью настоящей работы является конструирование фотодиодного трап-детектора с высокой внешней квантовой эффективностью, предназначенного для применения в составе аппаратуры Государственного первичного эталона единиц средней мощности и энергии лазерного излучения ДЭТУ 11-04-97, а также исследование его основных характеристик.

**Разработка конструкции трап-детектора.** Как известно, к настоящему времени разработаны специальные типы кремниевых фотодиодов, внутренняя квантовая эффективность которых близка к единице [1]. Строго говоря, даже для этих специальных типов фотодиодов внутренняя квантовая эффективность является функцией характеристик материала фотоприемника, его конструкции, электрического режима, интенсивности облучения, температуры и доминирующих механизмов генерации темнового тока. Если эта функция стабилизирована, то погрешность абсолютного измерения световых потоков полностью определяется внешней квантовой эффективностью фотоприемника, т. е. потерями света за счет диафрагмирования, отражения и рассеяния измеряемого потока излучения.

Из литературы известно, что доминирующим источником погрешности измерения является чувствительность трап-детектора к состоянию поляризации измеряемого светового потока. Так как углы падения измеряемого излучения на светочувствительные площадки фотодиодов трап-детектора близки, как правило, к 45°, то даже малые отклонения от идеальной ориентации фотодиодов от-

носителем измеряемого потока приводят к заметному изменению коэффициента отражения трап-детектора.

Принципиально возможны два пути уменьшения чувствительности трап-детектора к характеру поляризации измеряемого потока. Наиболее часто используется пространственная конфигурация трап-детектора, представленная на рис. 1. За счет наклона фотодиодов под углом  $45^\circ$  по отношению к направлению распространения потока излучения условия отражения света от поверхности фотодиодов для разных поляризаций уравниваются [2]. Однако полная компенсация имеет место только для плоской волны, а реальный, не очень точно ориентированный поток излучения с конечной расходимостью компенсируется не полностью. По литературным данным, квантовая эффективность такой конфигурации трап-детектора достигает значения 99,9 % [3], то есть 0,1 % мощности (энергии) измеряемого оптического излучения теряется, что уже не удовлетворяет современным требованиям к характеристикам эталонов.

Нами предложена конфигурация трап-детектора, показанная на рис. 2. В этой конфигурации измеряемый поток отражается от фотодиодов 11 раз, что существенно больше, чем в любой известной конструкции трап-детектора с четырьмя фотодиодами. Вариация коэффициента отражения для разных поляризаций потока измеряемого излучения в этой конфигурации меньше, чем требования к погрешности эталона, за счет большого количества отражений.

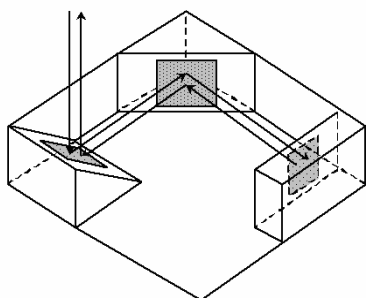


Рис. 1. Пространственная конфигурация

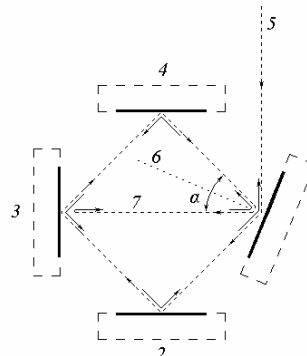


Рис. 2. Предложенная конфигурация

**Исследование характеристик трап-детектора.** Теоретически и экспериментально были оценены основные факторы, уменьшающие внешнюю квантовую эффективность трап-детектора - диафрагмирование, отражение и рассеяние измеряемого потока излучения.

Для оценки погрешности вследствие диафрагмирования была оценена в приближении геометрической оптики относительная часть потока, проходящая мимо светочувствительных площадок фотодиодов трап-детектора.

Для оценки относительной доли отраженного потока был выполнен расчет френелевских коэффициентов для кремниевой пластины без покрытия и для пластин с кварцевым и полимерным защитным покрытием (без учета интерференционных эффектов). Расчет был сопоставлен с экспериментально полученной функциональной зависимостью величины коэффициента отражения светочувствительной площадки фотодиода от угла падения светового потока.

Для оценки погрешности вследствие рассеяния экспериментально были получены индикатрисы рассеяния потока излучения фотодиодами с кварцевым и полимерным защитными покрытиями.

**Выводы.** Результаты проведенного исследования подтвердили возможность применения предложенной конфигурации трап-детектора в аппаратуре Государственного первичного эталона единиц средней мощности и энергии лазерного излучения ДЭТУ 11-04-97

#### **Литература**

1. Hamamatsy photonics K.K., Cat. No KSPD1032E01, Mar. 2001 DN
2. E. F. Zalewski, C. R. Duda. Silicon photodiode device with 100 % external quantum efficiency, Appl. Opt. v. 22 (18), 2867-2873 (1983).
3. R Goebel et al.. Polarization dependence of trap detectors. // Metrologia, 1996, № 33, p. 207-213